

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-132959

(43)公開日 平成11年(1999)5月21日

(51)Int.Cl.⁶
G 0 1 N 21/88
G 0 1 B 11/30
G 0 6 T 7/00

識別記号

F I
G 0 1 N 21/88
G 0 1 B 11/30
G 0 6 F 15/70

E
E
3 3 0 N

審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全 17 頁)

(21)出願番号 特願平9-296649

(22)出願日 平成9年(1997)10月29日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 前田 俊二
神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式
会社日立製作所生産技術研究所内

(72)発明者 岡 健次
神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式
会社日立製作所生産技術研究所内

(72)発明者 牧平 坦
神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式
会社日立製作所生産技術研究所内

(74)代理人 弁理士 小川 勝男

最終頁に続く

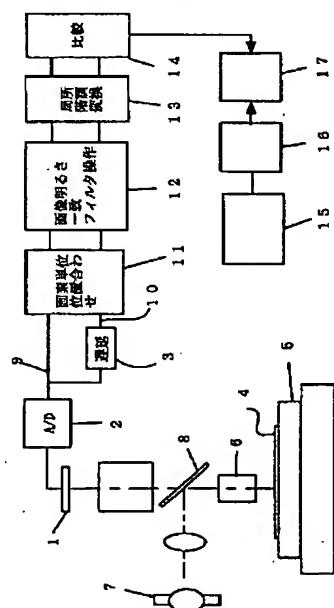
(54)【発明の名称】 欠陥検査方法および装置

(57)【要約】

【課題】半導体ウェハの欠陥を検出する高感度な被検査パターンの欠陥検査方法を提供する。

【解決手段】同一となるように形成されたチップ20を複数個配置した被検査パターンの欠陥検査方法で、被検査パターンの画像信号を検出し、これを基板上の隣接あるいは離れた被検査パターンの検出画像信号と比較する際、当該検出画像信号のいずれか、或いは双方を2つの比較する画像信号の明るさを、ゲインとオフセットとなる線形変換により局所領域内ではほぼ同一となるように階調変換し、これを用いてパターンを検査する。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】同一となるように形成されたパターンが複数個配置された基板を撮像して該基板上に配置された第1のパターンの画像を検出し、該検出した第1のパターンの画像を記憶し、前記基板を撮像して前記第1のパターンと同一になるように形成された第2のパターンの画像を検出し、前記記憶した第1のパターンの画像と前記検出した第2の画像とのずれを画素単位で補正し、該ずれを画素単位で補正した前記記憶した第1のパターンの画像と前記検出した第2の画像とを用いて前記パターンの欠陥を検出する欠陥検査法方であって、前記パターンの欠陥を検出する前に、前記記憶した第1のパターンの画像と前記検出した第2のパターンの画像との少なくとも何れか一方の階調を変換することを特徴とする欠陥検査方法。

【請求項2】前記階調の変換は、前記2つの比較する画像信号の明るさを、ゲインとオフセットをもつ線形変換によってほぼ同一となるように変換することを特徴とする請求項1記載の欠陥検査方法。

【請求項3】前記階調の変換のパラメータであるゲインとオフセットは、前記2つの比較する画像の明るさの2乗誤差が最小になるように決めることを特徴とする請求項2記載の欠陥検査方法。

【請求項4】前記検出される第1のパターンの画像と第2のパターンの画像とは、何れも光学画像であることを特徴とする請求項1乃至3の何れかに記載の欠陥検査方法。

【請求項5】前記検出される第1のパターンの画像と第2のパターンの画像とは、何れも2次荷電粒子像であることを特徴とする請求項1乃至3の何れかに記載の欠陥検査方法。

【請求項6】前記パターンは、セルである繰返しパターン領域からなるマット部と非繰返しパターン領域からなる周回路部とを有するチップであることを特徴とする請求項1ないし5の何れかに記載の欠陥検査方法。

【請求項7】前記チップは、CMP(ケミカルメカニカル)処理されたものであることを特徴とする請求項6記載の被検査パターンの欠陥検査方法。

【請求項8】画像のマッチングは、2枚の画像に双対のフィルタを畳み込み、差の2乗和が最小になるような、フィルタ係数を算出し、これに基づき2枚の画像に該フィルタを畳み込むことにより行なうことを特徴とする請求項6記載の被検査パターンの欠陥検査方法。

【請求項9】パターンが形成された基板を撮像して得た第1のパターンの画像を記憶し、前記第1のパターンと同一になるように形成された第2のパターンを撮像して該第2のパターンの画像を検出し、前記記憶した第1のパターンの画像と前記検出した第2のパターンの画像との少なくとも何れか一方の画像の明るさを補正し、該少なくとも何れか一方の画像の明るさを補正した前記第1

の画像と前記第2の画像とを用いて前記パターンの欠陥を検出することを特徴とする欠陥検査方法。

【請求項10】前記検出される第1のパターンの画像と第2のパターンの画像とは、何れも光学画像であることを特徴とする請求項9記載の欠陥検査方法。

【請求項11】前記検出される第1のパターンの画像と第2のパターンの画像とは、何れも2次荷電粒子像であることを特徴とする請求項9記載の欠陥検査方法。

【請求項12】同一となるように形成されたパターンが複数個配置された基板を撮像して前記基板上に配置されたパターンの画像を検出する画像検出手段と、前記画像検出手段で検出した第1のパターンの画像を記憶する記憶手段と、前記画像検出手段で検出した第2のパターンの画像と前記記憶手段に記憶した前記第1のパターンの画像とのずれを画素単位で補正するずれ補正手段と、前記ずれ補正手段でずれを画素単位で補正した前記第1のパターンの画像と前記第2の画像とを用いて前記パターンの欠陥を検出する欠陥検出手段とを備えた欠陥検査装置であって、前記記憶手段に記憶した第1のパターンの画像と前記画像検出手段で検出した第2のパターンの画像との少なくとも何れか一方の階調を変換することを特徴とする欠陥検査装置。

10 【請求項13】前記階調変換手段は、前記2つの比較する画像の明るさを、ゲインとオフセットをもつ線形変換によってほぼ同一となるように変換する線形変換部を備えたことを特徴とする請求項12記載の欠陥検査装置。

【請求項14】前記階調変換手段は、前記2つの比較する画像の明るさの2乗誤差が最小になるように前記ゲインとオフセット決めるゲイン・オフセット決定手段を備えたことを特徴とする請求項12記載の欠陥検査装置。

【請求項15】前記画像検出手段は、前記パターンの光学像を検出することを特徴とする請求項12乃至14の何れかに記載の欠陥検査装置。

【請求項16】前記画像検出手段は、前記パターンの表面の2次荷電粒子像を検出することを特徴とする請求項12乃至14の何れかに記載の欠陥検査装置。

【請求項17】前記被検査パターンの表面は、CMP(ケミカルメカニカル)処理されていることを特徴とする請求項12ないし14の何れかに記載の被検査パターンの欠陥検査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、被検査パターンの欠陥を検出する外観検査に係り、特に半導体ウェハや液晶ディスプレイなどにおける被検査パターンの欠陥検査方法及び装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、この種の検査装置は、特開昭55-74409号公報記載の技術の如く、被検査パターンを移動させつつ、ラインセンサ等の撮像素子により被検

査パターンの画像を検出し、前記検出した画像信号と所定時間だけ遅延させた画像信号の濃淡を比較することにより、その不一致を欠陥として認識するものであった。

【0003】また、特公平8-10463号に記載のように、比較は2枚の画像を整列させて、行うものであった。

【0004】上記従来の欠陥の認識方法を詳しく、図14～17を参照して説明する。図14は、従来技術の被検査パターンのメモリチップにおけるメモリマット部と周辺回路部の略示説明図、図15は、図14のメモリチップにおけるメモリマット部と周辺回路部における明るさのヒストグラム、図16は、CMP(ケミカル メカニカル ポリッシング)処理により半導体ウェハ上に積層した膜の表面を平坦に加工するプロセスの概略を示す図である。

【0005】図14に示す如く、半導体ウェハ上にはメモリチップ20が多数配設されて形成されている。前記メモリのチップ20は、メモリマット部21と周辺回路部22に大別することができる。前記メモリマット部21は小さな繰返しパターン(セル)の集合であり、前記周辺回路部22は基本的にはランダムパターンの集合である。ただし、多くの場合、子細に見ると複数の異なるセルピッチを有する繰り返しパターンの集合体とみなすことができる。

【0006】図15には、図14のメモリマット部21および周辺回路部22における明るさの分布、すなわち、10ビット構成で最大1024階調として、メモリチップ内の明るさに対する頻度(ヒストグラム)を示したものであるが、前記メモリマット部21はパターン密度が高く一般的に暗い。一方、前記周辺回路部22はパターン密度が低く一般的に明るい。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】図16に示したようなCMPプロセスを経た半導体ウェハ上の明るさの分布は、図17に示すヒストグラムでわかるように、メモリマット部21内の回路パターンは、パターンの膜厚の違いによって明るさの違いを生じさせている。同図では、配線層をデポジションした後、CMP処理により平坦化したものである。このようなパターンでは、膜厚が局所的に変動し、明るさむらが生じやすい。このようなパターンの場合、図15と図17に示すパターンの明るさを比較することになり、明るさの違いを誤検出しないようしきい値を設定すると、きわめて欠陥検出感度を低下させてしまう。このような明るさの違いは、照明光として波長帯域の広いものを使用すれば、ある程度は相殺できるが、CMP処理されたパターンについては、明るさの変動が大きいこともあり、限界がある。このため、明るさの異なるパターンから微小な欠陥を検出することが望まれていた。

【0008】さらに、従来は、2枚の画像の差の2乗和

を計算し、これに放物面を当てはめて、画像の位置ずれを検出していた。しかし、これでは、比較する2枚の画像が一致するという保証がなく、比較する上で最適なマッチングが望まれていた。図20は、2枚の画像(後述の図6の $f(x, y)$)の各画素についての差の2乗和を、一方の画像を x, y 方向に ± 1 画素の範囲でシフトしてまとめた実験結果である。横軸が x 方向、縦軸が y 方向である。図中の値は、差の2乗和である。ここでは、同一の画像(図6の $f(x, y)$)を用いている。

10 即ち、差の2乗和として、 $\Sigma (f(x, y) - f(x \pm 1, y \pm 1))^2$ を算出している。図20からわかるように、同一の画像でも差の2乗和は、(0, 0)を中心に対称ではなく、0.6%程度の非対称性がある。同一の画像であるため、(0, 0)で差の2乗和は0になっている。従って、このデータに放物線を当てはめ画素寸法以下の分解能で差の2乗和が最小になる位置を求めても、正確な位置のずれ、ここでは(0, 0)は検出できない。さらに、CMPプロセスのウェハでは明るさが異なる。この明るさの違いの影響を示す。ここでは、1枚20 の画像と、その明るさを1.1倍したものを使っている。1.1倍というのは、CMPウェハ明るさ変動としては普通か或いは小さいものである。実験結果を図21に示す。差の絶対値の和を表示している。最小位置は、(0, 1)となっている。画素以下の分解能どころか画素のレベルで大きな誤差がある。差の2乗和も同じ傾向であるが、これらのデータから、画像の位置ずれは正確に求められないことがわかる。勿論、1.05倍でも同様の傾向にある。このように、差の2乗和に放物面を当てはめ、これから最小となる位置を求めるとは、極めて大きな誤差をもつ方法と言わざるを得ない。

【0009】本発明の目的は、上記従来の技術課題を解決すべくなされたもので、明るさの異なるパターンも比較検査可能にし、つねに高感度で、欠陥を信頼性高く検査することができる被検査パターンの欠陥検査方法を提供することにある。

【0010】また、本発明の他の目的は、高精度な画像マッチング法を用いた被検査パターンの欠陥検査方法を提供することにある。

【0011】さらに、CMP処理されたウェハパターン40 を対象にした場合にも、高感度な欠陥検出方法を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明に係る被検査パターンの欠陥検査方法は、同一となるように形成されたパターンが複数個配置された基板を撮像してこの基板上に配置された第1のパターンの画像を検出し、この検出した第1のパターンの画像を記憶し、基板を撮像して第1のパターンと同一になるように形成された第2のパターンの画像を検出し、記憶した第1のパターンの画像と検出した第2の画像とのずれ

を画素単位で補正し、このずれを画素単位で補正した記憶した第1のパターンの画像と検出した第2の画像とを用いてパターンの欠陥を検出する欠陥検査法において、パターンの欠陥を検出する前に、記憶した第1のパターンの画像と検出した第2のパターンの画像との少なくとも何れか一方の階調を変換することを特徴とするものである。

【0013】また、階調の変換は、2つの比較する画像信号の明るさを、ゲインとオフセットをもつ線形変換によってほぼ同一となるように変換することを特徴とするものである。

【0014】さらに、階調の変換のパラメータであるゲインとオフセットは、2つの比較する画像の明るさの2乗誤差が最小になるように決めるなどを特徴とするものである。

【0015】また、検出される第1のパターンの画像と第2のパターンの画像とは、何れも光学画像であることを特徴とするものである。

【0016】また、検出される第1のパターンの画像と第2のパターンの画像とは、何れも2次荷電粒子像であることを特徴とするものである。

【0017】また、パターンは、セルである繰返しパターン領域からなるマット部と非繰返しパターン領域からなる周辺回路部とを有することを特徴とするものである。

【0018】更に、チップは、CMP（ケミカルメカニカル）処理されたものであることを特徴とするものである。

【0019】更に、画像のマッチングは、2枚の画像に双対のフィルタを畳み込み、差の2乗和が最小になるような、フィルタ係数を算出し、これに基づき2枚の画像にフィルタを畳み込むことにより行なうことを特徴とするものである。

【0020】

【発明の実施の形態】図1ないし図13を参照して本発明の各実施の形態を説明する。

【0021】【実施の形態 1】本発明に係わる被検査パターンの欠陥検査方法、装置を説明する。図1は、本発明の一実施例に係わる被検査パターンの欠陥検査装置の構成図である。

【0022】本実施の形態においては、被検査パターンとして、半導体ウェハ上に形成された回路パターンの例を説明する。

【0023】図1において、1はイメージセンサであり、被検査パターンである半導体ウェハ4からの反射光の明るさ、すなわち濃淡に応じた濃淡画像信号を出力するものであり、2はイメージセンサ1から得られる濃淡画像信号をデジタル画像信号9に変換するA/D変換器、3は濃淡画像信号を遅延させる遅延メモリ、4は被検査パターンのある半導体ウェハ、5は被検査パターン

の半導体ウェハ4を載置するX方向とY方向とZ方向とθ方向（回転）の移動するステージ、6は半導体ウェハ4に対する対物レンズ、7は被検査パターンの半導体ウェハ4を照明する照明光源、8は照明光を反射して対物レンズ6を通して半導体ウェハ4に照射すると共に、半導体ウェハ4からの反射光を透過するハーフミラー、9は濃淡画像信号がA/D変換器で変換されたデジタル画像信号である。このようにして、照明光源7からの照明光を反射させて対物レンズ6を通して半導体ウェハ4に対して、例えば明視野照明を施すように構成している。

【0024】また、3は、画像信号9を繰り返される1セルまたは複数セルピッチ分を記憶して遅延させる遅延メモリであってもよいし、画像信号9を繰り返される1チップまたは複数チップピッチ分記憶して遅延させる遅延メモリでもよい。

【0025】11はデジタル画像信号9及び遅延されたデジタル画像信号10を位置合わせするものであり、ここでは、画素単位で濃淡差が最小となる位置ずれ量を検出し、この位置ずれ量に基づき一方の画像をシフトして、2枚の画像を位置合わせするものである。ここで、画像はイメージセンサにより連続的に検出されるが、画像を例えば256ラインごとに分割し、この単位で位置合わせを行う。12は、明るさの異なる画像信号を、明るさを一致させるべく、双方の画像信号を変換する明るさ変換部である。ここでは、画像全体に一括したフィルタ操作を実施して、明るさを一致させている。

【0026】13は、明るさの異なる画像信号を、明るさを一致させるべく、双方の画像信号の階調を変換する階調変換部である。ここでは、個々の画素毎にゲインとオフセットにより線形変換を実施して、明るさを一致させている。

【0027】そして、得られた画像信号を比較部14において比較し、不一致を欠陥として検出するものである。

【0028】なお、上記例では照明として、明視野照明を採用したが、これに限るものではなく、暗視野照明、輪帯照明などの顕微鏡照明として使用できるものならば、差し支えない。また、電子線による照明でも適用できることは言うまでもない。

【0029】これらの照明条件を種々変えて、複数回検査し、これら複数回の検査結果の論理和を取って最終結果としても差し支えない。或いは、論理積をとって確実に欠陥として識別し、例えばこの欠陥分布や個数によってプロセス診断してもよい。この場合、不一致部の目視確認を行うレビューは不要として作業の簡素化、簡易化を図ることもできる。

【0030】次に上記構成の検査装置の動作について図1～5を参照して説明する。図1と図2とでは、処理順序を変えてある。

【0031】図1において、対物レンズ6で収束させた照明光で、ステージ5をX方向に走査して被検査パターンの半導体ウェハ4の対象領域について等速度で移動させつつ、イメージセンサ1により前記半導体ウェハ4上に形成された被検査パターン、すなわちチップ20内のメモリマット部21および周辺回路部22の明るさ情報（濃淡画像信号）を検出する。

【0032】1列分の移動が終わると、隣の列にY方向に高速移動し、位置決めする。すなわち、等速移動と高速移動を繰り返して検査を行うものである。もちろん、ステップ＆リピート型の検査でも差し支えない。そして、A/D変換器2は、イメージセンサ1の出力（濃淡画像信号）をデジタル画像信号9に変換する。このデジタル画像信号9は10ビット構成である。勿論、6ビット程度あれば、画像処理する上では特に問題ないが、微小欠陥を検出するにはある程度のビット数が必要である。

【0033】まず、画素単位の画像位置合わせについて説明する。画素単位の画像位置合わせは、比較する二枚*

$$S(1,0)+S(1,-1)+S(0,-1) \text{ が最小ならば } \Delta x++ \quad (2)$$

$$S(-1,0)+S(-1,-1)+S(0,-1) \text{ が最小ならばそのまま } \quad (3)$$

$$S(-1,0)+S(-1,-1)+S(0,1) \text{ が最小ならば } \Delta y++ \quad (4)$$

$$S(-1,0)+S(1,1)+S(0,1) \text{ が最小ならば } \Delta x++, \Delta y++ \quad (5)$$

なお、 $\Delta x++$ は、 $\Delta x = \Delta x + 1$ の意である。

【0039】このように位置合わせにより、つねに得られた位置ずれ量だけ片方の画像の位置をずらすことにより、二枚の画像の位置合わせが行なわれる。すなわち、画像fを常に右上移動して、新たな画像f'を求めることになり、移動方向を4種類（右下移動、左上移動、左下移動、右上移動）から1種類に特定することができる。これはハードウェアの簡略化につながるもので※

$$\Sigma (F * f(x, y) - F' * g(x, y)) \quad (6)$$

フィルタF、F'は、例えば 2×2 画素のサイズをもつものである。

【0042】図5にフィルタの1例を示す。フィルタFとF'は、同図に示すように対称形であり、双対である★

$$\alpha = \{(\sum \sum C0 * Cy) * (\sum \sum Cx * Cy) - (\sum \sum C0 * Cx) * (\sum \sum Cy * Cy)\} / \{(\sum \sum Cx * Cx) * (\sum \sum Cy * Cy) - (\sum \sum Cx * Cy) * (\sum \sum Cx * Cy)\} \quad (7)$$

$$\beta = \{(\sum \sum C0 * Cx) * (\sum \sum Cx * Cy) - (\sum \sum C0 * Cy) * (\sum \sum Cx * Cx)\} / \{(\sum \sum Cx * Cx) * (\sum \sum Cy * Cy) - (\sum \sum Cx * Cy) * (\sum \sum Cx * Cy)\} \quad (8)$$

ただし、

$$C0 = f(x, y) - g(x, y) \quad (9)$$

$$Cx = \{f(x+1, y) - f(x, y)\} - \{g(x-1, y) - g(x, y)\} \quad (10)$$

$$Cy = \{f(x, y+1) - f(x, y)\} - \{g(x, y-1) - g(x, y)\} \quad (11)$$

本方式は、対象である二枚の画像にフィルタリングを施し、その濃淡の二乗誤差を最小にして一致させるものである。繰返し演算などが不要であり、一回の演算で実現可能なものである。

【0044】上記方式の特徴は、二枚の画像の濃淡が、二乗の誤差最小の意味でよく一致するようにフィルタ係

*の画像の一方を画素の単位でずらしながら濃淡差（画像の各画素の値と対応画素の値との差）を演算し、濃淡差が最小となる位置ずれ量を求めるものである。画像の位置ずれ検出の範囲は、例えば最大 ± 3 画素とし、またパターンの設計ルールに応じて可変とする。得られた位置ずれ量だけ片方の画像位置をずらせることにより、二枚の画像の位置合わせを行なうものである。

【0034】下記を用いて説明する。

【0035】

10 $S(\Delta x, \Delta y) = \sum |f(x, y) - g(x - \Delta x, y - \Delta y)| \quad (1)$
位置ずれ検出は、上記の $S(\Delta x, \Delta y)$ を \min とする $\Delta x, \Delta y$ を検出するものである。

【0036】ただし、最小となる位置は画素単位でしか求められないため、真の位置が求めた $\Delta x, \Delta y$ のどちらの近くにあるかにより、オフセットとして加える。

【0037】下記の式に基づき、 $\Delta x, \Delta y$ に1を加えたりもしくは、そのままにする。

【0038】すなわち、

※ある。

【0040】図3は、明るさ一致フィルタ操作部12を詳しく示したものである。画素単位で位置合わせされた2枚の画像 $f(x, y)$ と $g(x, y)$ に関して、まず画像内で下記値を最小にするフィルタ F, F' を求めること。

30 【0041】

★る。このような双対形にすると、フィルタのパラメータの係数を、最小二乗法を用いて、解くことができる。

【0043】

数 α, β を求めるものである。特に、これらのパラメータは必ずしも画像の位置ずれ量の真値を表しているわけではない。例えば、従来技術において述べたように、 $S(\Delta x, \Delta y)$ に放物面を当てはめ、その最小位置を算出し、次にこの算出位置に基づいて、内挿して補間画素を求める方式も考えられるが、この場合は明るさに関し

て、なんら満たすべき規範とか条件はなく、その意味で、得られる画像を比較検査に使うことは、保証されたものでない。さらに、明るさが異なる場合は、算出した位置ずれは何を表しているか不明である。その上、たとえ放物面近似して算出した最小位置が、本実施例で述べた方式と位置が一致しても、得られる比較すべき画像は一致するものではない。

【0045】本実施例で説明した方式は、2枚の画像の明るさの2乗誤差が最小になることを保証するものであり、この点で他の方式と一線を画すものである。図13に示すように、線形近似であるため、フィルタの係数である α は、位置ずれとみなすと、誤差をもつ。しかし、得られた明るさは一致している。本方式は、画像間の濃*

$$\Sigma (f(x, y) - a * g(x, y) - b)^2 \quad (12)$$

パラメータ a 、 b は、上記した値を a 、 b で偏微分し、零とおくことによって求められる。例えば、定めたエリアとは、各点の周囲の7の範囲である。

※

$$a * g(x, y) + b$$

と変換する。これにより明るさが一致した画像が得られる。パラメータ a 、 b は、位置 (x, y) ごとに異なる★20 【0050】

$$a = (\Sigma (f(x, y)g(x, y)) - \Sigma f(x, y)\Sigma g(x, y)/MN) \quad (14)$$

$$/(\Sigma g(x, y)g(x, y) - \Sigma g(x, y)\Sigma g(x, y)/MN) \quad (14)$$

$$b = (\Sigma f(x, y) - a\Sigma g(x, y))/MN \quad (15)$$

ここで、 Σ の範囲の画素数をMNとしている。

【0051】さらに、 Σ の範囲において、着目した中央画素と周囲画素の明るさを比較し、明るさが大きく異なるときは、これを加算しないこともよい方法である。

【0052】或いは、加算自体はするのであるが、加算★

$$W(x, y) = \max[1 - (c - d)^2 / (D * D), 0] \quad (16)$$

とする。

【0053】ここで、 $\max[]$ は最大値検出、 c 、 d はいずれも8ビット階調の明るさである。また、 $D = 255$ とする。これにより、着目した中央画素と周囲画素の明るさが似ているときは、重みを1近くの値にし、似ていないときは、小さい値とするものである。勿論、このような関数にこだわる必要はなく、重みを適切に与えられるものならば、何でもよい。

【0054】図7と図8に、検出した2枚の画像の例を示す。検出した2枚の画像には、図示したような明るさに大きな違いがある。この2枚の画像を、画素単位の精度で位置合わせを行い、明るさ一致フィルタ操作をした。しかしながら、本画像では明るさの違いが大きすぎて、同図に示すように、差画像において、大きな不一致が生じている。このような画像に対し、階調変換処理を実施した。

【0055】図7～9を用いて処理例を説明する。ここでは、 $D = 70$ とした。定めたエリアは、各点の周囲の 7×7 画素の範囲である。図7と図8において、検出した2枚の画像 $f(x, y)$ 、 $g(x, y)$ 、及び明るさヒストグラムを示す。両図において、画像 $f(x, y)$ 、

* 淡の違いを本質的に小さくでき、比較検査において極めて都合のよい方式であると考えられる。

【0046】さらに、フィルタ係数 α 、 β の算出は、繰返し演算することなく解析的に行うことができ、ハードウェア化するのに適しているという特長がある。

【0047】図4は、局的な階調変換部13を詳しく示したものである。画素単位で位置合わせされ、明るさ一致フィルタ操作出力の2枚の画像 $f(x, y)$ と $g(x, y)$ に関して、まず画像内の定めたエリア内で下記の値を最小にするパラメータ a 、 b (a : ゲイン、 b : オフセットに相当) を求める。

【0048】

$$\Sigma (f(x, y) - a * g(x, y) - b)^2 \quad (12)$$

※ 【0049】求められたパラメータを用いて画像信号の片方 $g(x, y)$ を

※

(13)

★するとき、重みを付けて、寄与率を下げる効果がある。例えば、 (x, y) の着目画素の明るさを c とし、 Σ の範囲内の別の画素の明るさを d とすると、重み $W(x, y)$ を

$$30 y, g(x, y), \text{ 及びそれらの明るさヒストグラム} \quad (16)$$

が互いに異なることがわかる。一方、図9に、変換後の画像 $a * g(x, y) + b$ 、及び明るさヒストグラムを示す。変換によって図8と図9との明るさヒストグラムがほぼ等しくなることがわかる。ここでは、図7～9の画像を対象にした実験結果では、画像内のある点で $a = 1.41$ 、 $b = 0$ が得られた。この画像では、明るさのゲインが大きく(41%)異なることがわかる。

【0056】この例から、オフセット b を常に0と設定し、ゲインだけを可変にする方式も考えられる。

【0057】図10及び11は、このような変換により得られた画像の差を示したものである。これらの図において、定めたエリアを、各点の周囲の 3×3 、 5×5 、 7×7 画素の範囲とした。また、この時の重みは、 $W(x, y) = 1$ とした。さらに、 7×7 画素の範囲については、重みを上記した $W(x, y)$ に従うとした。これらの図より、エリアが小さい場合は、明るさを局的に合わせ込み、画像間の不一致が小さくなることがわかる。これでは、明るさの許容範囲は広がるが、微小な欠陥を見逃してしまう。このため、エリアを検出すべき領域に応じて拡げる必要がある。しかし、重みが1に固定

されている場合、パターン領域の境界部が不一致として、即ち虚報として検出されてしまう。重み付けした場合は、境界の影響が低減され、ほぼ2枚の画像の明るさが一致し、微小な欠陥も検出できることになる。

【0058】なお、 7×7 画素などのエリアは、必ずしも正方形である必要性はなく、長方形や多角形、或いは円でもよい。

$$W(x, y) (\sigma f / \sigma g) \quad (17)$$

ここで、 σf 、 $m f$ は、それぞれ画像 $f(x, y)$ において、点 (x, y) 近傍の定めたエリア内の標準偏差、平均値であり、 σg 、 $m g$ は、それぞれ画像 $g(x, y)$ において、点 (x, y) 近傍の定めたエリア内の標準偏差、平均値である。上記した変換により、画像 $g(x, y)$ の明るさを $f(x, y)$ に一致させることができる。

【0062】 $W(x, y)$ は、上記した重みでもよいし、画像 $f(x, y)$ と $g(x, y)$ の定めたエリア内の画像データの相関係数でもよい。

【0063】この方式も、結果として2つの画像のヒストограмが一致するという特長がある。

【0064】いずれの方式も、ゲインとオフセットからなる線形変換の形になっている。

【0065】以上のべた階調変換は、着目画素近傍の局所的な明るさ変換である。勿論、目的や画像の特性に従って、画像全体、即ちここでは256ライン全体に適用しても構わないものである。また、2枚の画像のどちらに、一方の画像の明るさを一致させるかは、例えば、画像毎に明るさ平均値を算出し、明るい方に合わせることができる。また、2枚の画像を双方とも階調変換して互いに合わせても良い。更に、定めたエリア毎、或いは各点毎に、明るさ平均値を算出し、明るい方に合わせることもできる。

【0066】なお、図1では、画像明るさ一致フィルタ操作の後に、階調変換を実施しているが、この順序は、図2に示すように入れ替えてよい。ただし、発明者らの検討によれば、図2の方が、明るさの違いには強いものである。

【0067】次に、比較器14は、本発明者らが開発した方式、特開昭61-212708号公報記載の技術に示したもの等で差し支えなく、画像の差画像検出回路、差画像を定めたしきい値で2値化する不一致検出回路、2値化された出力より面積や長さ（投影長）、座標などを算出する特徴抽出回路から構成される。

【0068】図12を用いて、さらに本発明にかかるしきい値設定について説明する。

【0069】上記したように、差画像を2値化する際、領域の境界などで、虚報が発生しやすい。そこで、図12に示すように、画像の局所領域内の最大値と最小値の差、平均値、微分値の x 、 y いずれか大きい方を、各点ごとに算出する。これらの値に、別途定めたパラメータ

* 【0059】重み付けの方法は、この他にも、着目した中央画素と周囲画素の明るさを比較し、明るさの差がしきい値より大きいときは、重みを0とすることもできる。

【0060】以上述べた以外に、下記の階調変換も考えられる。

* 【0061】

$W(x, y) (g(x, y) - m g) + m f \quad (17)$
を掛け合わせ、加算する、いわゆる積和演算することにより、しきい値を生成する。これにより、例えば、領域の境界部の明るさ変化が大きいところでは、微分値等が大きくなるので、しきい値が大きくなり、虚報の発生を未然に防ぐことが可能になる。勿論、最大値と最小値の差、平均値、微分値の x 、 y いずれか大きい方は、3つとも備える必要はなく、いずれかひとつでもよい。例えば、上記した階調変換を実施した場合は、平均値を算出する必要性はない。

【0070】このようなしきい値を用いて、画像の差を2値化すれば、虚報の問題をより効果的に低減できる。

【0071】図1又は2において、設計情報に基づいて得られる半導体ウェハ4上におけるチップ内の配列データ等の座標を、キーボード、ディスク等から構成された入力手段15、又は図示しない通信手段を介して外部の記憶装置から入力しておくことにより、CPU16は、入力された半導体ウェハ4上におけるチップ内の配列データ等の座標に基づいて、欠陥検査データを作成して記憶装置17に格納する。

【0072】この欠陥検査データは、必要に応じてディスプレイ等の表示手段に表示することもできるし、また

【0073】これらにより、きわめて高精度に画像を比較することができ、本発明で意図した目的がより高感度に実現できることになる。

＜実施の形態2＞本発明に係るパターン検査方法および装置の第2の実施の形態を図18に示す。ここでは、電子線により試料を走査して、電子線の照射によってウェハから発生する電子を検知し、その強度変化に基づいて走査部位の電子線像を得、電子線像を用いてパターン検査を行う。前述の発明が解決しようとする課題に対して、本第2の実施の形態では、欠陥判定のしきい値を、パターンの位置ずれ、階調値の差異などを考慮して画素ごとに設定することで対処する。

【0074】本システムは、検出部101、画像取り出し部102、画像処理部103、システム全体を制御する全体制御部104からなる。

【0075】始めに、検出部101について述べる。

【0076】図18において、電子線31を出た電子ビームは、磁界レンズ32、対物レンズ33を経て、試料面では画素サイズ程度のビーム径に絞られる。この際、

グランド電極37、リターディング電極38によって、試料に負電位を引加し、対物レンズと試料間で電子ビームを減速することで低加速電圧領域での高分解能化を図る。電子線が照射されると、試料（ウェハ1）からは電子が発生する。偏向器34による電子線のX方向の繰り返し走査と、ステージ2による試料のY方向の連続的な移動に同期して試料から発生する電子を検出することで、試料の2次元の電子線像が得られる。試料から発生した電子は検出器35で捕らえられ、アンプ36で増幅される。ここで、高速検査を可能にするために、電子ビームをX方向に繰り返し走査させる偏向器34としては、偏向速度の速い静電偏向器を用いることが、また、電子銃31としては、電子ビーム電流を大きくできるので照射時間が短くできる電界放射型電子銃を用いることが、また、検出器35には高速駆動が可能な半導体検出器を用いることが望ましい。

【0077】次に、画像取り出し部102について述べる。

【0078】アンプ36で増幅された信号は、AD変換器39によってデジタル信号に変換された後、前処理回路40において、暗レベル補正（ビーム・ブランкиング期間中の特定数画素の階調値の平均を暗レベルとする）、電子ビーム電流の揺らぎ補正（ビーム電流を図示されていない対物絞りで検出し、信号をビーム電流で正規化する）、シェーディング補正（ビーム走査位置による光量変動を補正）を行った後、ガウシアンフィルタ、平均値フィルター、あるいはエッジ強調フィルターなど*

$$\alpha = \{(\sum \sum C0 * Cy) * (\sum \sum Cx * Cy) - (\sum \sum C0 * Cx) * (\sum \sum Cy * Cy)\} / \{(\sum \sum Cx * Cx) * (\sum \sum Cy * Cy) - (\sum \sum Cx * Cy) * (\sum \sum Cx * Cy)\} \quad (18)$$

$$\beta = \{(\sum \sum C0 * Cx) * (\sum \sum Cx * Cy) - (\sum \sum C0 * Cy) * (\sum \sum Cx * Cx)\} / \{(\sum \sum Cx * Cx) * (\sum \sum Cy * Cy) - (\sum \sum Cx * Cy) * (\sum \sum Cx * Cy)\} \quad (19)$$

ただし、

$$C0 = f1(x, y) - q1(x, y) \quad (20)$$

$$Cx = \{f1(x+1, y) - f1(x, y)\} - \{q1(x-1, y) - q1(x, y)\} \quad (21)$$

$$Cy = \{f1(x, y+1) - f1(x, y)\} - \{q1(x, y-1) - q1(x, y)\} \quad (22)$$

(18)式、(19)式のように、 α 、 β を求めるには種々の統計量 $\sum \sum \times \times$ を求める必要がある。統計量算出部44において、それら種々の統計量の算出を行い、サブCPU45において計算された $\sum \sum \times \times$ を用いて、(18)式、(19)式の演算を行って α 、 β を求める。

【0083】局所階調変換回路46は、前述した $f1$ と $q1$ ※

$$sub(x, y) = q1(x, y) - f1(x, y)$$

しきい値演算回路48では、遅延回路46、47を経た画像信号 $f1$ 、 $q1$ および、 α 、 β を用いて、 $sub(x, y)$ の値に応じて欠陥候補か否かを判定する二つのしきい値 $thH(x, y)$ と $thL(x, y)$ を算出する。 $thH(x, y)$ は $sub(x, y)$ の上限を規定するしきい値であり、 $thL(x, y)$ は $sub(x, y)$ ★

$$thH(x, y) = A(x, y) + B(x, y) + C(x, y) \quad (24)$$

$$thL(x, y) = A(x, y) - B(x, y) - C(x, y) \quad (25)$$

*によるフィルタリング処理を行って、画質を改善する。また、必要に応じて、画像の歪みの補正も行なう。これらの前処理は、後の欠陥判定処理において有利なように検出画像を変換するためのものである。遅延回路41は信号を一定時間だけ遅延させるが、遅延時間を、例えばステージ2がチップピッチ分移動する時間にすれば、遅延された信号 $q0$ と遅延されていない信号 $f0$ は隣り合うチップの同じ箇所での画像信号となり、前述したチップ比較検査となる。あるいは遅延時間を、ステージ2がメモリセルのピッチ分移動する時間にすれば、遅延された信号 $q0$ と遅延されていない信号 $f0$ は隣り合うメモリセルの同じ箇所での画像信号となり、前述したセル比較検査となるわけである。以上のようにして、画像取り出し部102から、比較すべき画像信号 $f0$ と $q0$ が取り出される。以下、 $f0$ を検出画像、 $q0$ を比較画像と呼ぶことにする。

【0079】次に、画像処理部103における処理について述べる。

【0080】画素単位の位置合わせ部42では、検出画像の位置を基準にした時、検出画像と比較画像の「整合度」が最大となる位置が、0～1画素の間になるよう比較画像の位置をずらす。

【0081】次に、明るさ一致フィルタ操作部における、画像間あかるさ不一致を最小にするフィルタF、F'を求める。前述したように、フィルタのパラメータの係数を、最小二乗法を用いて、解く。

【0082】

$$\alpha = \{(\sum \sum C0 * Cy) * (\sum \sum Cx * Cy) - (\sum \sum C0 * Cx) * (\sum \sum Cy * Cy)\} / \{(\sum \sum Cx * Cx) * (\sum \sum Cy * Cy) - (\sum \sum Cx * Cy) * (\sum \sum Cx * Cy)\} \quad (18)$$

$$\beta = \{(\sum \sum C0 * Cx) * (\sum \sum Cx * Cy) - (\sum \sum C0 * Cy) * (\sum \sum Cx * Cx)\} / \{(\sum \sum Cx * Cx) * (\sum \sum Cy * Cy) - (\sum \sum Cx * Cy) * (\sum \sum Cx * Cy)\} \quad (19)$$

※の明るさをそろえる階調変換を実施するためのものである。

【0084】差分抽出回路49では、 $f1$ と $q1$ の差画像 $sub(x, y)$ を求める。式で表すと次のようにになる。

【0085】

$$(23)$$

★の下限を規定するしきい値である。しきい値演算回路48の構成を図19に示す。演算の内容を式で表すと次のようになる。

【0086】

たとし、

$$\begin{aligned} A(x, y) &= \{dx1(x, y) * \alpha - dx2(x, y) * (-\alpha)\} + \{dy1(x, y) * \beta - dy2(x, y) * (-\beta)\} \\ &= \{dx1(x, y) + dx2(x, y)\} * \alpha + \{dy1(x, y) + dy2(x, y)\} * \beta \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} B(x, y) &= |\{dx1(x, y) * a - dx2(x, y) * (-a)\}| + |\{dy1(x, y) * b - dy2(x, y) * (-b)\}| \\ &= |\{dx1(x, y) + dx2(x, y)\} * a| + |\{dy1(x, y) + dy2(x, y)\} * b| \end{aligned} \quad (27)$$

$$C(x, y) = (\max1 + \max2) / 2 * \gamma + \varepsilon \quad (28)$$

ここで、 a, a, b, b は、 $0 \sim 0.5$ の実数、 γ は 0 以上の実数、 ε を 0 以上の整数

$$dx1(x, y) = f1(x+1, y) - f1(x, y) \quad (29)$$

$$dx2(x, y) = g1(x, y) - g1(x-1, y) \quad (30)$$

$$dy1(x, y) = f1(x, y+1) - f1(x, y) \quad (31)$$

$$dy2(x, y) = g1(x, y) - g1(x, y-1) \quad (32)$$

$$\max1 = \max\{f1(x, y), f1(x+1, y), f1(x, y+1), f1(x+1, y+1)\} \quad (33)$$

$$\max2 = \max\{g1(x, y), g1(x-1, y), g1(x, y-1), g1(x-1, y-1)\} \quad (34)$$

しきい値を算出する(24)(25)式の第1項 $A(x, y)$ は、位置ずれ検出部43で求めた α, β に対応してしきい値を補正するための項である。例えば(29)式で表される $dx1$ は、 $f1$ の階調値の x 方向の局所的な変化率とみなし、 $dx1(x, y) * \alpha$ は、位置が α ずれた時の $f1$ の階調値の変化の予測値ということができる。よって、 $A(x, y)$ の第1項 $\{dx1(x, y) * \alpha - dx2(x, y) * (-\alpha)\}$ は、 x 方向に $f1$ の位置を $\alpha, g1$ の位置を $-\alpha$ ずらした時に、 $f1$ と $g1$ の差画像の階調値がどのくらい変化するかを画素ごとに予測した値ということができる。同様に第2項は y 方向について予測した値ということができる。しきい値の第一項 $A(x, y)$ は、 α, β をキャンセルするための項である。

【0087】しきい値を算出する(24)(25)式の第2項 $B(x, y)$ は、バターンエッジの微小な位置ずれやバターン形状の微小な差異、バターン歪みを許容するための項である。 $A(x, y)$ を求める(26)式と $B(x, y)$ を求める(27)式を対比させれば明らかなように、 $B(x, y)$ は a, a, b, b による、差画像の階調値の変化予測の絶対値である。 $A(x, y)$ によって既知の位置ずれ(とみなす)がキャンセルされるとするならば、 $A(x, y)$ に $B(x, y)$ を加算するのは、位置の合った状態からさらに x 方向に a, a, y 方向に b, b だけ位置をずらす(とみなす)ことを意味している。つまり、 x 方向に a, a, y 方向に b, b の位置ずれを許容するのが $B(x, y)$ である。また、 $A(x, y)$ から $B(x, y)$ を減ずるのは、位置の合った状態からさらに x 方向に $-a, a, y$ 方向に $-b, b$ だけ位置をずらす(とみなす)ことを意味している。

$thL(x, y) \leq sub(x, y) \leq thH(x, y)$ を満たせば、位置 (x, y) の画素は非欠陥候補、満たさなければ位置 (x, y) の画素は欠陥候補と判定する。欠陥判定回路50は、非欠陥候補画素は0、欠陥候補画素は1以上の値を持つ $def(x, y)$ を出力する。

【0090】特徴抽出回路50aでは、ノイズ除去処理(例えば、 $def(x, y)$ に対して縮小・膨張の処理を行う)によってノイズ的な出力を削除したあと、近隣の欠陥候補部を一つにまとめる欠陥候補部のマージ処理を行う。その後、一まとめごとに、重心座標、XY投影長、面積などの特徴量を算出する。

* 方向に $-b, b$ だけ位置をずらすことを意味している。 x 方向に $-a, a, y$ 方向に $-b, b$ の位置ずれを許容するのが $-B(x, y)$ である。しきい値に上限、下限を設けることによって、 $\pm a, a, \pm b, b$ の位置ずれを許容することになるわけである。そして、パラメータ a, a, b, b の値を適切な値に設定することによって、許容する位置ずれ量を自由にコントロールすることが可能である。

【0088】しきい値を算出する(24)(25)式の第3項 $C(x, y)$ は、階調値の微小な差異を許容するための項である。 $C(x, y)$ の加算は、 $g1$ の階調値が $f1$ の階調値よりも $C(x, y)$ だけ大きいのを許容することを意味し、 $C(x, y)$ の減算は、 $g1$ の階調値が $f1$ の階調値よりも $C(x, y)$ だけ小さいのを許容することを意味する。ここでは、 $C(x, y)$ を、局所領域での階調値の代表値(ここでは \max 値)に比例定数 γ を掛けた値と、定数 ε との和としたが、この関数にこだわる必要はなく、階調値の変動の仕方が既知であれば、それに合った関数するのがよい。例えば、階調値の平方根に変動幅が比例すると分かっていれば、(28)式の代わりに、 $C(x, y) = (\max1 + \max2) 1/2 * \gamma + \varepsilon$ とすべきである。 $B(x, y)$ と同様、パラメータ γ, ε によって、許容する階調値の差異を自由にコントロールすることが可能である。

【0089】欠陥判定回路50では、差分抽出回路49の出力 $sub(x, y)$ および、しきい値演算回路48の出力 $thL(x, y), thH(x, y)$ を用いて、

$$(35)$$

【0091】全体制御部104では、欠陥部の座標を試料上の座標系に変換し、疑似欠陥の削除を行い、最終的に、試料上での位置と特徴量とからなる欠陥データをまとめる。この欠陥データは、図示しない通信手段により、外部の記憶装置又はデータ処理装置へ送信される。また、この欠陥データをディスプレイ等の表示手段上に表示することもできる。

【0092】本実施の形態によれば、小領域全体としての位置ずれや、個々のバターンエッジの微小な位置ずれや、階調値の微小な差異が許容されるため、正常部を欠

陥と誤認識することがなくなる。また、パラメータ a a b b 、 γ 、 ε によって、位置ずれ、階調値の変動の許容量のコントロールを容易に行うことが可能となる。

【0093】上記発明の実施の形態1、2によれば、場所によるパターンの明るさの違いに影響されることなく、欠陥を高感度に検出することができる。したがって、メモリマット部21など暗い領域において内部の明るさがばらつきの大きいパターンにおいても高感度に検査できる。従って、従来に比べ、信頼性の高い検査を実現することができる。

【0094】以上、本発明に係る実施の形態について、主に光学顕微鏡や走査型電子顕微鏡を用いた比較検査方法について述べたが、他の赤外線やX線により得られた画像検出に用いた場合にも、同様に有効であることはいうまでもない。

【0095】

【発明の効果】本発明の構成によれば、多層のパターンの膜厚の違いによって生ずる検出した画像の明るさの違いによって、また場所によるパターンの画像の明るさの違いによって全体の検査感度が律束されることなく、欠陥を高感度に検出することができるという効果を奏する。

【0096】また、高精度の画像マッチングを行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態に係る被検査パターンの欠陥検査装置の構成図である。

【図2】本発明の一実施形態に係る被検査パターンの欠陥検査装置の構成図である。

【図3】画像明るさ一致フィルタ操作部の説明図である。

【図4】階調変換部の説明図である。

【図5】双対フィルタの例を示す図である。

【図6】本発明にかかる検出画像と差画像の例を示す図である。

【図7】本発明にかかる検出画像と差画像の例を示す図である。

【図8】本発明にかかる検出画像と差画像の例を示す図である。

【図9】本発明にかかる検出画像と差画像の例を示す図である。

【図10】本発明の階調変換を実施した例を示す図である。

る。

【図11】本発明の階調変換を実施した例を示す図である。

【図12】本発明のしきい値設定方式の説明図である。

【図13】本発明の画像明るさ一致フィルタ操作部の動作説明図である。

【図14】被検査パターンのメモリチップにおけるメモリマット部と周辺回路部の略示説明図である。

【図15】図10のメモリチップにおけるメモリマット部と周辺回路部における明るさのヒストグラムである。

【図16】CMPプロセス処理のフローを説明する図である。

【図17】CMP処理された、異なるメモリチップにおけるメモリマット部と周辺回路部における明るさのヒストグラムである。

【図18】本発明の一実施形態に係る被検査パターンの欠陥検査装置の構成図である。

【図19】しきい値演算回路の構成を説明する図である。

【図20】2枚の画像の差の2乗和を表す図である。

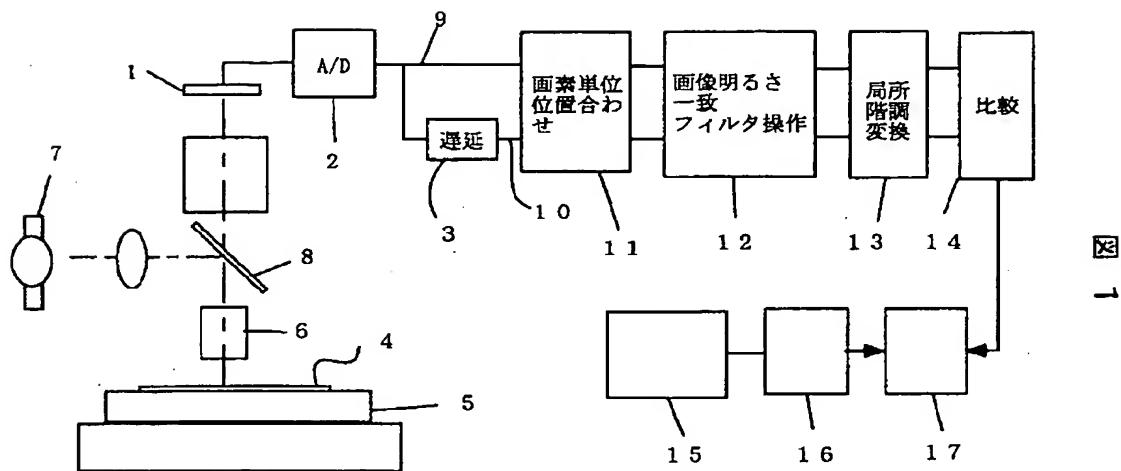
【図21】2枚の画像の差の絶対値の和を表す図である。

【符号の説明】

1…イメージセンサ、2…A/D変換器、3…遅延メモリ、4…半導体ウェハ、5…X、Y、Z、θステージ、6…対物レンズ、7…照明光源、8…ハーフミラ、9…画像信号、10…画像信号、11…画素単位位置合わせ部、12…画像明るさ一致フィルタ操作部、13…階調変換部、14…比較部、15…入力手段、16…CP

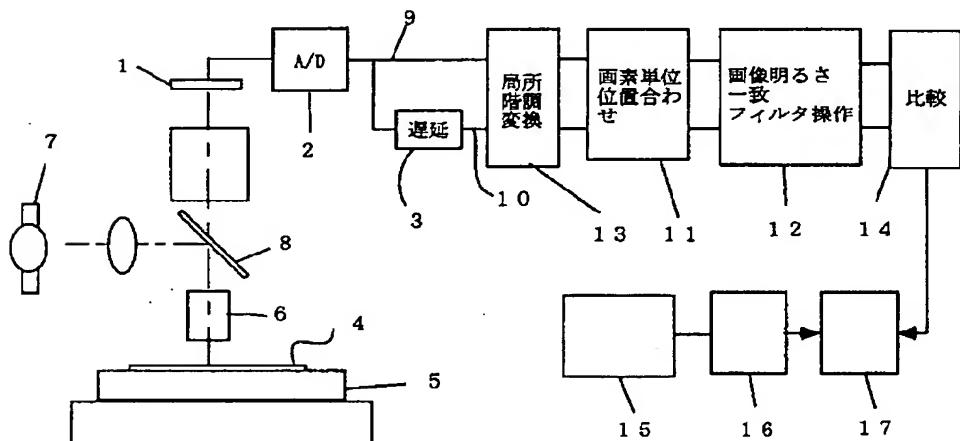
30 U、17…記憶装置、20…チップメモリ、21…メモリマット部、22…周辺回路部（非繰り返しパターンであるが、複数の繰り返しピッチをもつ繰り返しパターンを含む）、31…電子銃、32…磁界レンズ、33…対物レンズ、34…偏向器、35…検出器、36…アンプ、37…グランド電極、38…リターディング電極、39…A/D変換器、40…前処理回路、41…遅延回路、42…画素単位の位置合わせ部、46…局所階調変換回路、48…しきい値演算回路、49…差分抽出回路、50…欠陥判定回路、101…検出部、102…画像取り出し部、103…画像処理部、104…全体制御部。

【図1】



【図2】

図 2



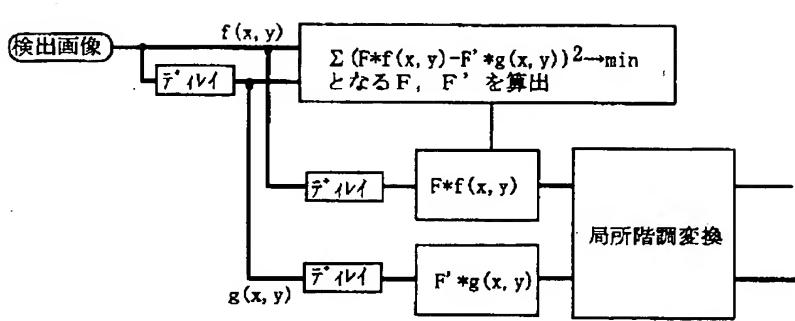
【図20】

図 20

	-1	0	1
-1	8.28×10^{11}	1.56×10^{11}	9.07×10^{11}
0	8.55×10^{11}	0	8.59×10^{11}
1	9.0×10^{11}	1.55×10^{11}	8.33×10^{11}

【図3】

図 3



【図5】

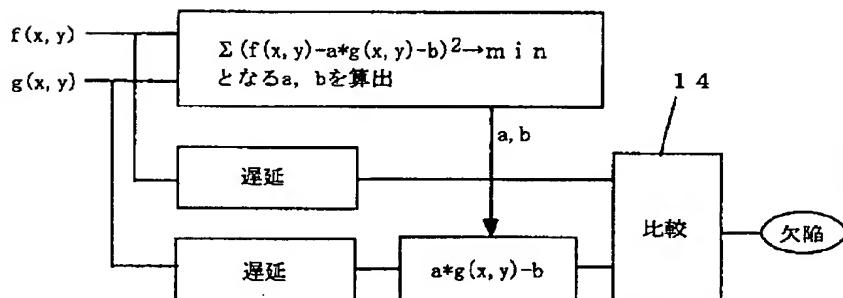
図 5

$$F = \begin{bmatrix} 1 - \alpha - \beta & \alpha \\ \beta & 0 \end{bmatrix}$$

$$F' = \begin{bmatrix} 0 & \beta \\ \alpha & 1 - \alpha - \beta \end{bmatrix}$$

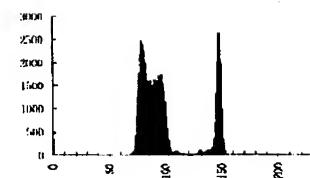
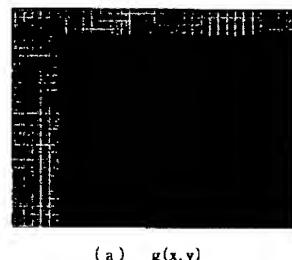
【図4】

図 4



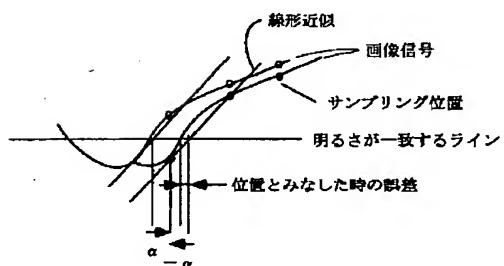
【図7】

図 7



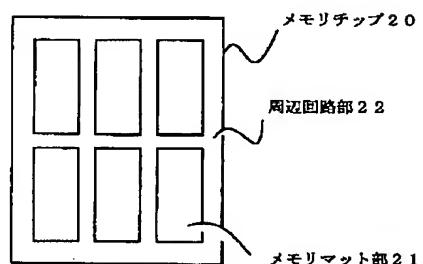
【図13】

図 13



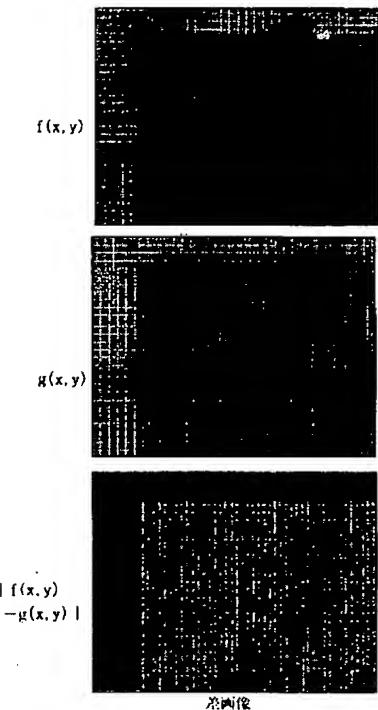
【図14】

図 14



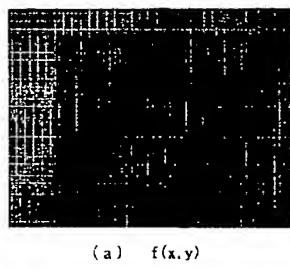
【図6】

図 6



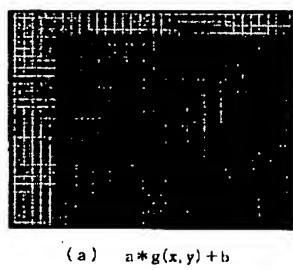
【図8】

図 8



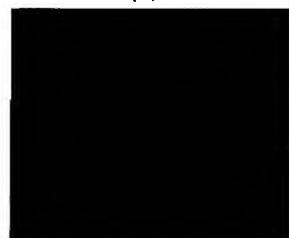
【図9】

図 9



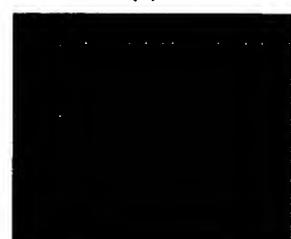
【図10】

図 10

差画像 1 (3×3)

【図11】

図 11

差画像 3 (7×7)

(b)

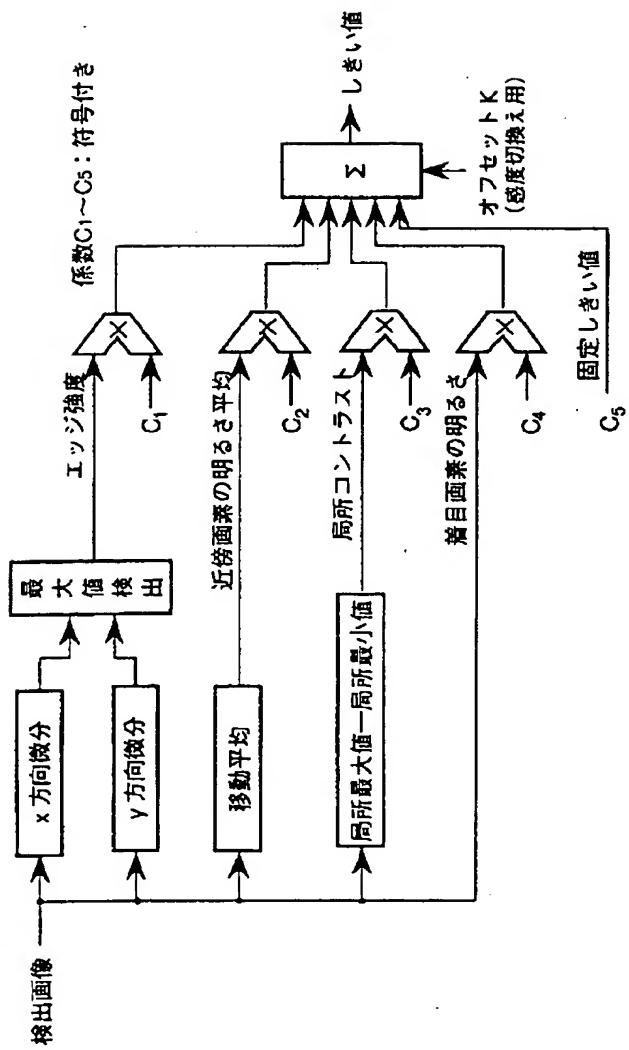
差画像 2 (5×5)

(b)

差画像 4 (7×7 , 重み付け)

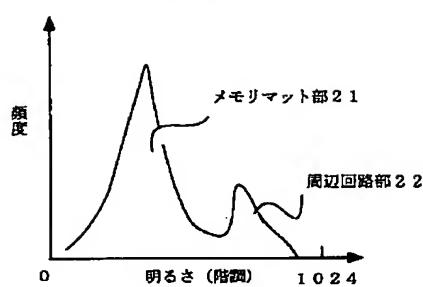
【図12】

図 12



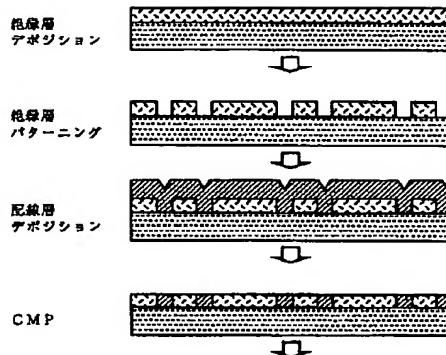
【図15】

図15



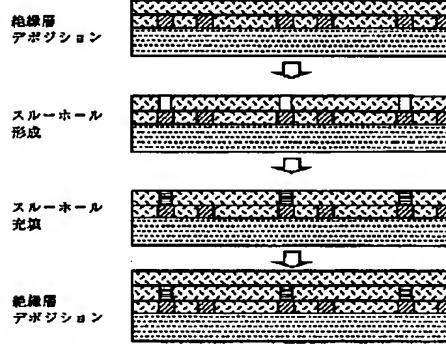
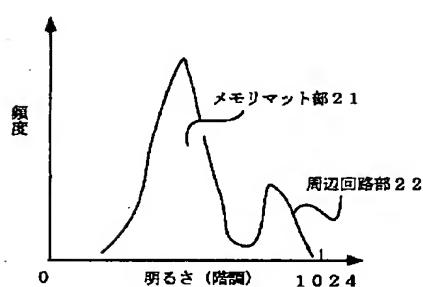
【図16】

図16



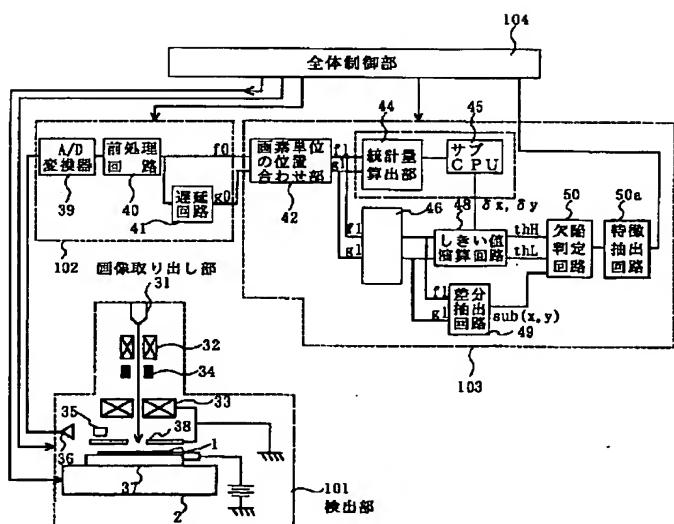
【図17】

図17



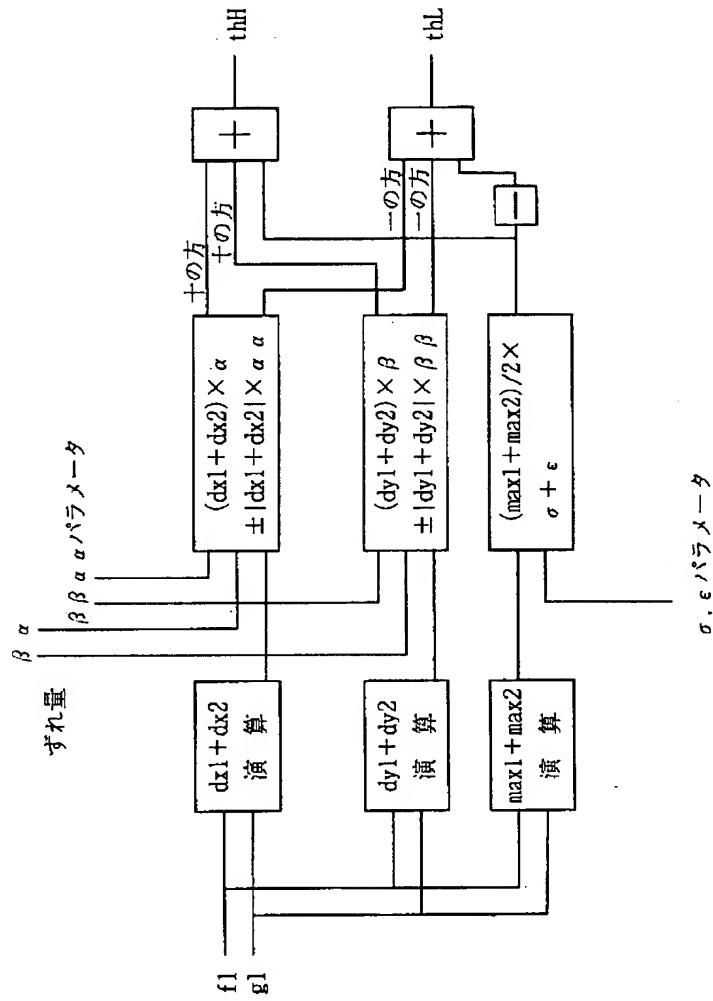
【図18】

図18



【図19】

図 19



【図21】

図 21

	-1	0	1
-1	967323	742941	951727
0	953922	732608	939418
1	950797	728523	937704

フロントページの続き

(72)発明者 中山 保彦
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式
 会社日立製作所生産技術研究所内
 (72)発明者 ▲吉▼田 実
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式
 会社日立製作所生産技術研究所内

(72)発明者 芝田 行広
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式
 会社日立製作所生産技術研究所内
 (72)発明者 宮戸 千絵
 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式
 会社日立製作所生産技術研究所内